

PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PABX USANDO HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE

Elizabeth Guillán Joa¹, Danelis Garrido Guillán², Yunior Vicente Cabrera González³

^{1,2,3} Departamento de Telecomunicaciones, Universidad de Oriente, UO, Ave. Las Américas s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

¹e-mail: eguillan@uo.edu.cu

²e-mail: danelis@uo.edu.cu

³e-mail: yvabrera@uo.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño de una PABX (Private Automatic Branch Exchange) empleando hardware y software libre como solución tecnológica para la automatización de la telefonía en pequeñas empresas. El diseño consta de dos partes fundamentales: una tarjeta de interfaz con la PSTN (Public Switched Telephone Network), controlada por el Arduino Mega 2560 y un software de configuración con interfaz gráfica de usuario que opera en el servidor. El software diseñado permite la interacción con el hardware, así como la fácil configuración del motor de telefonía FreeSWITCH para ejecutar el enrutamiento de las llamadas, la creación de menús IVR (Interactive Voice Response), la gestión de usuarios, entre otras funciones. Se describe el intercambio de información entre el hardware y el software mediante un protocolo de comunicación serie diseñado para llevar a cabo las distintas operaciones telefónicas. Finalmente, se demuestra mediante mediciones y pruebas, que el diseño cumple las funcionalidades requeridas.

PALABRAS CLAVES: PABX, Arduino, FreeSWITCH, IVR.

PROPOSAL FOR THE DESIGN OF A PABX USING FREE HARDWARE AND SOFTWARE

ABSTRACT

This work presents the design of a PABX (Private Automatic Branch Exchange) using free hardware and software as a technological solution for the automation of telephony in small companies. The design consists of two fundamental parts: an interface card with the PSTN (Public Switched Telephone Network), controlled by Arduino Mega 2560 and configuration software with a graphical user interface that operates on the server. The designed software allows interaction with the hardware, as well as the easy configuration of the FreeSWITCH telephony engine to execute the routing of calls, the creation of IVR (Interactive Voice Response) menus, user management, among other functions. The exchange of information between hardware and software is described using a serial communication protocol designed to carry out the various telephone operations. Finally, it is demonstrated through measurements and tests that the design meets the required functionalities.

KEY WORDS: PABX, Arduino, FreeSWITCH, IVR.

1. INTRODUCCIÓN

El acelerado desarrollo de las tecnologías de la informática y las comunicaciones ha propiciado la integración de los servicios de voz y datos en una misma aplicación, con el objetivo de acceder a la información de la forma más simple posible y al alcance de todos. De esta asociación ha surgido el término CTI (Computer Telephony Integration), que combina la conveniencia y amplia extensión del teléfono con la flexibilidad de la computadora, definiéndose como: “Una plataforma tecnológica que combina los servicios de voz y de datos en forma de aplicaciones”. [1]

CTI es la fuerza motriz de los sistemas sofisticados de centrales telefónicas de hoy en día, se emplea además en lugares donde se necesita agilizar y automatizar la comunicación. Funciones como la visualización de la información de la llamada, marcado automático, marcado controlado por computadora, transferencia de datos coordinada, encaminamiento de llamada y otras, pueden ser implementadas a través de esta tecnología. [2]

Soportado sobre la tecnología CTI surge el término PABX para referirse a un sistema que permite el manejo del enrutamiento y conmutación de llamadas entre una empresa u oficina y la red telefónica pública. [3]

La principal ventaja de la PABX radica en el ahorro de líneas telefónicas físicas usando en su lugar extensiones digitales. Ofrece además funcionalidades útiles para entornos empresariales, tales como: IVR, correo de voz, grabación de llamadas, cola de llamadas, llamadas en conferencia, entre otras. [4]

IVR es la funcionalidad más importante que un sistema PABX puede proveer. Esta tecnología permite a miles de empresas en el mundo atender llamadas telefónicas de manera automática, consultar bases de datos y proporcionar la información en forma de voz. Las empresas ven en los sistemas IVR la manera de automatizar los procesos comerciales, reducir tiempos de respuesta, brindar acceso inmediato y sin esperas, y de manera general, mejorar la atención al cliente y su satisfacción. [5]

En los últimos años diversos autores han abordado temáticas relacionadas con el desarrollo e implementación de hardware y software para sistemas PABX y su correspondiente evaluación [3], [4], [5] así como análisis de la calidad de servicio QoS (Quality of Service) [6], [7] y seguridad [8]. Actualmente la sociedad cubana está inmersa en un intenso proceso de informatización con el fin de lograr una mejora en la prestación de diferentes servicios. Por esta razón, la implementación de servicios automatizados de telefonía en empresas y otras entidades, que permitan a la población acceder a información de manera rápida, eficiente y sin necesidad de un operador constante, es una prioridad. Debido al alto costo de la tecnología para este fin y el difícil acceso de nuestro país a ella, se ha hecho necesario diseñar alternativas tecnológicas con las mismas prestaciones que las propietarias y a un costo inferior.

Teniendo en cuenta las razones antes mencionadas en este trabajo se propone describir el diseño de los módulos de un sistema PABX empleando hardware y software libre como solución tecnológica viable y económica para la automatización de la telefonía en pequeñas empresas de prestación de servicios.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La solución tecnológica que se propone parte del diseño de dos módulos fundamentales: el hardware de la tarjeta de interfaz con la PSTN y el software de control con su interfaz gráfica de usuario. En la Fig. 1 se muestra el esquema general del sistema que se plantea.

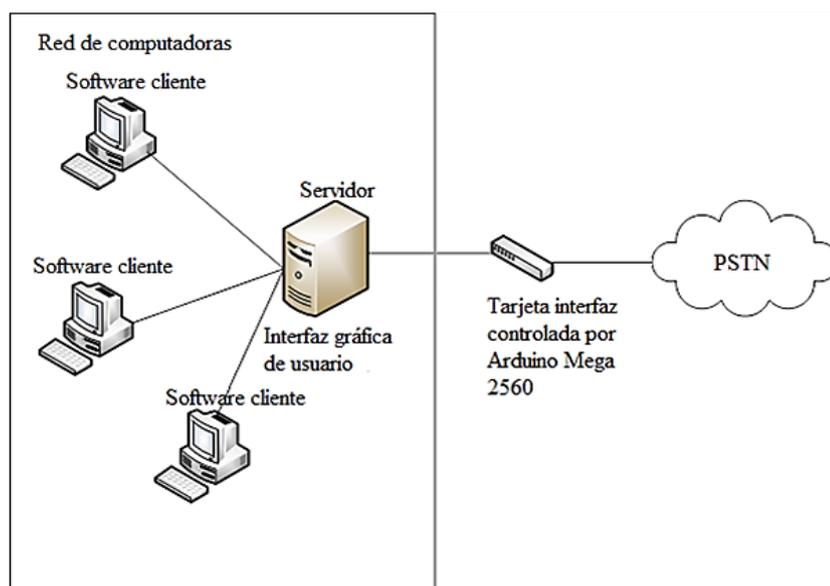


Figura 1: Esquema general del sistema.

Diseño de la tarjeta de interfaz con la PSTN

La tarjeta interfaz con la PSTN se diseñó para lograr las siguientes funcionalidades telefónicas: garantizar el colgado y descolgado del terminal, analizar los tonos de progreso de llamada, detectar la señal de timbre, detectar y generar los tonos DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency), permitir la comunicación en ambos sentidos y poseer un alto aislamiento con relación a la línea telefónica [9]. En la Fig. 2 se muestra el esquema funcional en bloques del hardware de la tarjeta.

El detector de timbre (véase Fig. 3) está constituido fundamentalmente por el circuito integrado GL6840 cuya función es detectar y validar la presencia en la línea telefónica de una tensión de alterna de 75 ± 15 V y de 25 Hz de frecuencia. El circuito de comunicación (véase Fig. 4) garantiza el colgado y descolgado de la línea telefónica cuando se requiera.

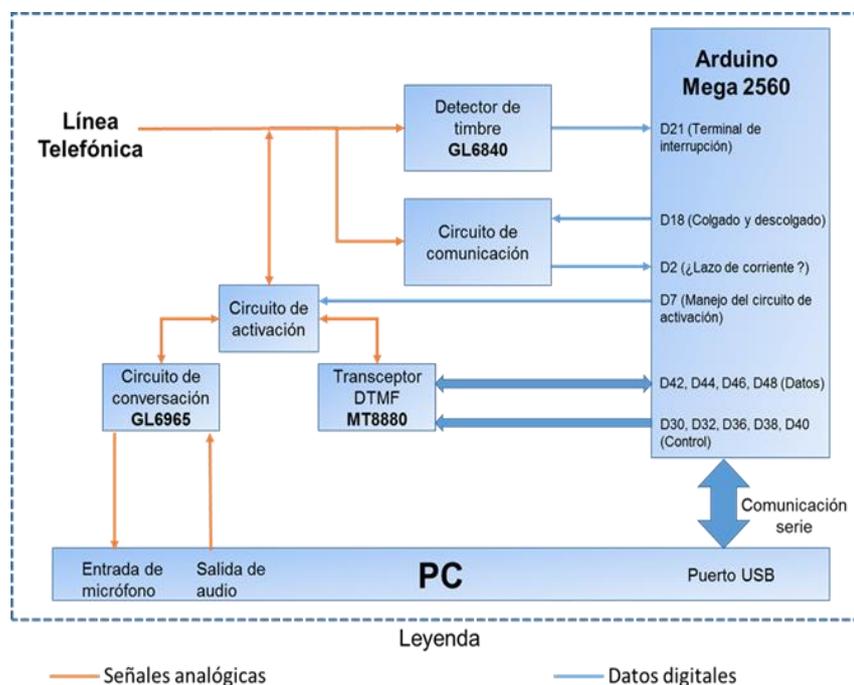


Figura 2: Esquema en bloques del hardware [9].

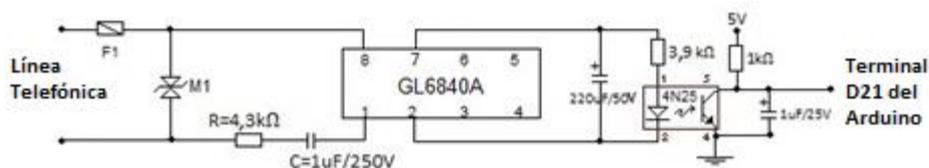


Figura 3: Circuito de detección de timbre.

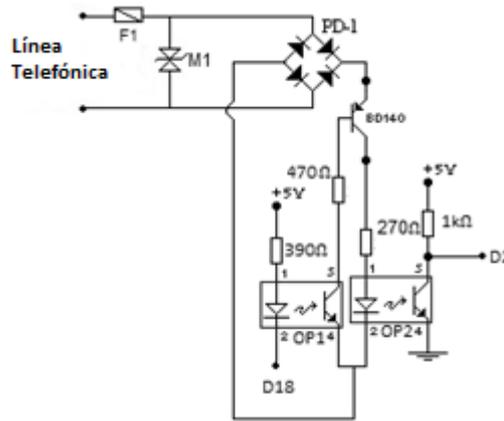


Figura 4: Circuito de comunicación.

El circuito de activación (véase Fig. 5) se encarga de permitir o no el paso de la señal presente en la línea telefónica a la entrada del circuito de conversación y del transceptor DTMF. El circuito de conversación (véase Fig. 5) está constituido por el circuito integrado GL6965. Separa los caminos de transmisión y recepción por lo que constituye una híbrida activa, acondiciona la señal para ser enviada desde la computadora hacia la línea telefónica y desde la línea telefónica hacia la computadora.

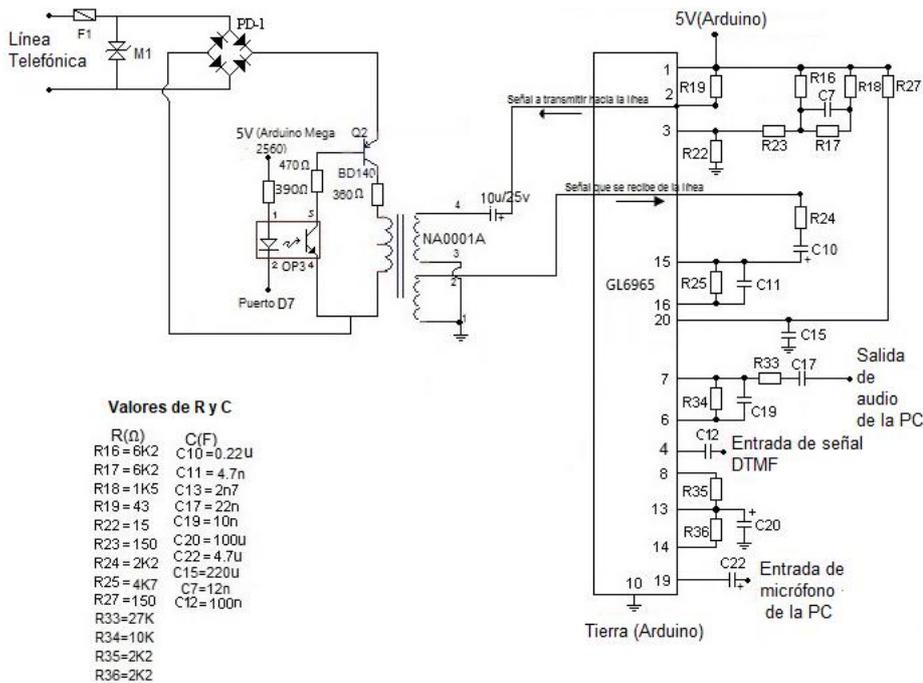


Figura 5: Circuitos de activación y conversación.

Como transceptor DTMF (véase Fig. 6) se empleó el circuito integrado MT8880, el cual es programable y tiene como función generar e interpretar los tonos multifrecuencia relacionados con la marcación de los dígitos del teléfono. Adicionalmente interpreta los tonos de progreso de llamada como por ejemplo abonado ocupado, invitación a marcar, etc. presentes en la línea telefónica.

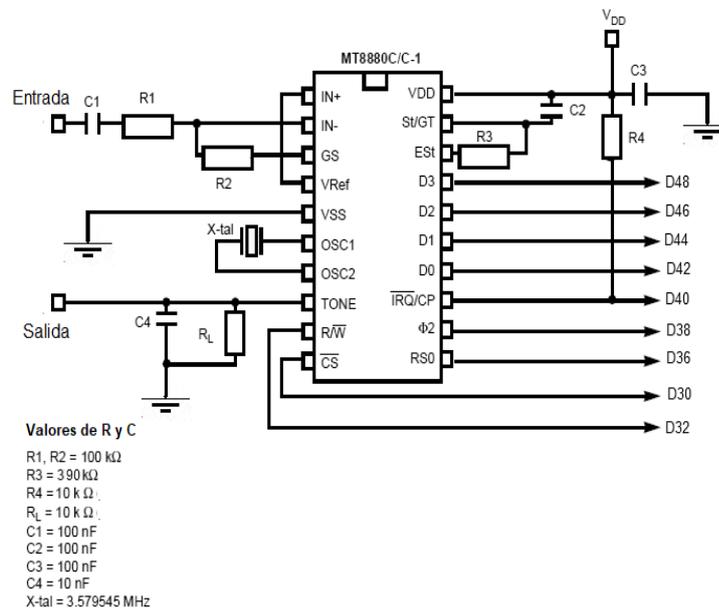


Figura 6: Transceptor DTMF.

El Arduino Mega 2560 se programó para realizar el control de todos los bloques antes analizados. Fue seleccionado por ser una plataforma de hardware libre y código abierto además de ser muy económico. Dota al sistema de gran nivel de automatización; establece una comunicación serie con la computadora para interactuar con el software de control con el cual intercambia datos, recibe órdenes y en función de éstas, controla el hardware restante.

Diseño del software de control

El software de control fue desarrollado en el entorno de desarrollo Visual Studio 2019 en el lenguaje de programación C#. En la Fig. 7 se muestra el esquema en bloques que se tuvo en cuenta para el diseño del software.

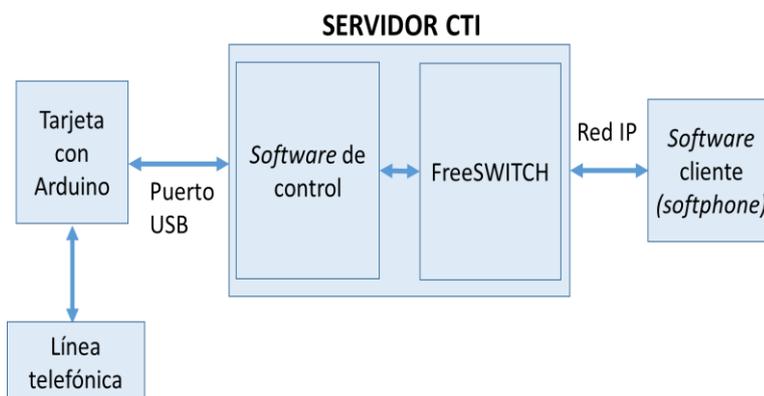


Figura 7: Esquema en bloques del software [10].

En general, el software de control implementado realiza las siguientes funciones [10]:

- Control del hardware: a través una comunicación serie virtual sobre un puerto USB físico, el software intercambia datos con el hardware posibilitando el control del estado de la línea telefónica para la generación y recepción de llamadas.
- Control y configuración del motor de telefonía FreeSWITCH de manera automática, a través de comandos de control generados por el software.
- Creación de menús IVR: desde la interfaz gráfica de usuario el administrador puede crear menús de respuesta de voz interactiva, permitiendo de esta forma, guiar al usuario llamante a través de un sistema totalmente automatizado, donde puede acceder a información existente en bases de datos o ser atendido por un funcionario de la empresa desde su computadora.

La selección del FreeSWITCH como motor de telefonía se basó en las siguientes características:

- Software libre: Puede ser modificado libremente y ser empleado en aplicaciones comerciales libre de costo para su empleo.
- Multiplataforma: Puede ejecutarse sobre los sistemas operativos Linux y Windows.
- Versatilidad: Su funcionamiento puede ser extendido embebiéndolo dentro de otros programas o controlándolo externamente.
- Amplias funciones como motor de telefonía: Puede funcionar como un softphone, un sistema PABX, un soft-switch, o como interfaz con otros sistemas PABX open source tales como OpenPBX.org, Bayonne, Yate o Asterisk [11].

En la Fig. 8 se muestra la interfaz gráfica de usuario diseñada para el software de control. Específicamente se observa la pestaña “Estado” donde se brinda información relacionada con el FreeSWITCH y la conexión de la tarjeta de interfaz con la PSTN.



Figura 8: Captura de la pestaña “Estado” de la interfaz gráfica de usuario.



Figura 9: Captura de la pestaña “Usuarios” de la interfaz gráfica de usuario.

En la Fig. 9 se muestra una captura de la pestaña “Usuarios” en la cual se permite agregar y eliminar los usuarios que se conectarán a través de la red de computadoras de la empresa o entidad donde se va a implementar el sistema. En caso de agregarse un usuario, al mismo se le asocia una extensión y una contraseña.

En la Fig. 10 se muestra una captura de la pestaña “Menús IVR”. En esta ventana se pueden crear y modificar los menús de respuesta de voz interactiva según las necesidades de la empresa en la que se instala el sistema. En la Tabla 1 se resumen los comandos del protocolo serie diseñado que permiten establecer la comunicación entre el hardware y el software.

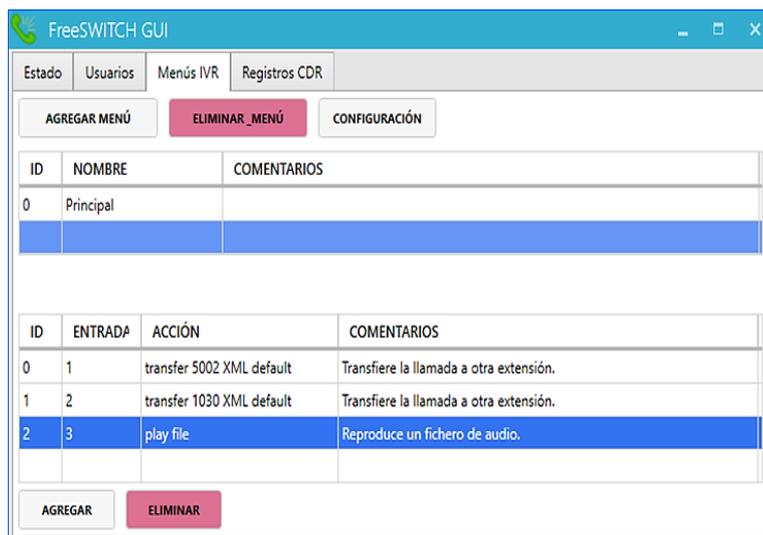


Figura 10: Captura de la pestaña “Menús IVR” de la interfaz gráfica de usuario.

Tabla 1: Protocolo de comunicación.

Comando	Dirección	Significado
98	Bidireccional	Detección de conexión del hardware.
99	Hardware-Software	Solicitud de llamada entrante proveniente de la PSTN.
99	Software-Hardware	Orden para descolgar (llamada entrante).
100	Hardware-Software	Indica que a continuación se enviará un dígito DTMF detectado.
100	Software-Hardware	Indica que a continuación se enviarán los dígitos DTMF que debe generar.
101	Hardware-Software	Fin de marcación.
105	Software-Hardware	Orden para colgar .
105	Hardware-Software	No se puede realizar la llamada y se procede a colgar.
104	Software-Hardware	Orden para descolgar (llamada saliente).
103	Hardware-Software	Existe tono de invitación a marcar. Puede realizarse la marcación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para comprobar el correcto funcionamiento de la PABX se realizaron llamadas desde las computadoras de la red hacia la PSTN y en sentido inverso. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en la generación de llamadas. Se demuestra el correcto funcionamiento del sistema en el modo de salida hacia la PSTN. En dichas pruebas se comprueba que la petición de llamada por parte de un usuario de la red es gestionada por el software diseñado el cual, a su vez, envía comandos a la tarjeta interfaz para el control sobre la línea telefónica en el proceso de generación de la llamada.

Tabla 2: Llamadas salientes.

Tipo de llamada	Llamadas realizadas	Destinos alcanzados	% de efectividad
Llamadas nacionales	5	5	100
Llamadas provinciales	7	7	100
Llamadas locales	20	20	100

En la Tabla 3 se analiza la efectividad de las llamadas recibidas. En esta prueba se mide la efectividad del circuito detector de timbre, la del circuito de descolgado y fundamentalmente del circuito DTMF para interpretar los dígitos marcados por el llamante.

Tabla 3: Llamadas entrantes.

Llamadas entrantes	Llamadas cursadas	% de efectividad
10	10	100

Se analizó además la calidad de la voz recibida y transmitida en cuanto a nivel, inteligibilidad, eco y reverberación según encuestas realizadas a personas que intervinieron en las pruebas del sistema. Los resultados obtenidos son bastante satisfactorios y se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados del análisis de la calidad de la voz.

Parámetros	Bueno	Regular	Malo
Intensidad	33	9	0
Inteligibilidad	36	6	0
Rechazo a eco	42	0	0
Rechazo a reverberación	42	0	0

El sistema propuesto en este trabajo está diseñado para la conexión de solo una línea telefónica pudiéndose establecer solo una llamada entrante o saliente a la vez. Sin embargo, este sistema al tener un diseño electrónico abierto, permite en futuras aplicaciones ampliar el número de canales telefónicos en dependencia de las necesidades de la empresa que

desea implementar dicho sistema. El precio de los componentes para el desarrollo de la tarjeta en el mercado internacional ronda los \$ 33.00 USD.

Digium es la compañía líder en la fabricación de tarjetas CTI actualmente. Sus dispositivos cubren un amplio espectro de características técnicas. La tarjeta analógica 1A4B00F de Digium tiene funcionalidades similares a la tarjeta propuesta. Como ventaja admite hasta cuatro conexiones de líneas telefónicas, pero presenta las siguientes desventajas: hardware cerrado (no permite extender funcionalidades mediante modificaciones) y tienen un precio elevado (alrededor de los \$ 240.00 USD). [12]

4. CONCLUSIONES

Realizadas las pruebas que avalan la efectividad del diseño se puede concluir que el mismo constituye una solución viable para la automatización telefónica de pequeñas empresas y entidades de prestación de servicios. La fácil conformación de los menús IVR en la interfaz gráfica de usuario del software de control, propicia gran versatilidad al sistema para adaptarse a las características propias de la empresa en cuestión. Su empleo aumenta la rapidez y disponibilidad con que el cliente puede acceder a información de interés y representa una contribución tecnológicamente independiente al proceso de informatización de la sociedad cubana.

REFERENCIAS

- [1] D. I. Garrido Rodríguez y E. Guillán Joa, «Sistema automático de comunicación para centros hospitalarios», en Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, vol. 1, n° 1, pp. 6-9, 2011.
- [2] A. Benítez Fernández y E. Guillán Joa, «Aplicación CTI para terminal de trenes en Santiago de Cuba», en Convención Internacional de Ciencias Técnicas VII Conferencia Internacional de Ingeniería Eléctrica FIE 2014, Santiago de Cuba, 2014.
- [3] Md. T. Rahman, Md. J. N. Mahi, M. Biswas, M. S. Kaiser y S. Al Mamun, «Performance evaluation of a portable PABX system through developing new bandwidth optimization technique», en 2015 International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), Bangladesh, mayo 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICEEICT.2015.7307502.
- [4] L. A. Mohammed y K. Munir, «Analytical Method for Modeling PBX Systems for Small Enterprise», IJCSIT, vol. 10, n° 06, pp. 97-110, dic. 2018, doi: 10.5121/ijcsit.2018.10609.
- [5] D. A. Mauro, «Method and apparatus for enhancing an Interactive Voice Response (IVR) system», Estados Unidos Patente US 9,542,074 B2, 10 enero 2017.
- [6] J. G. Reis, L. Wanner, y A. A. Frohlich, «A Framework for Dynamic Real-Time Reconfiguration», en 2015 Euromicro Conference on Digital System Design, Madeira, Portugal, ago. 2015, pp. 255-258, doi: 10.1109/DSD.2015.22.
- [7] E. Ramadhan, A. Firdausi, y S. Budiyo, «Design and analysis QoS VoIP using routing Border Gateway Protocol (BGP)», en 2017 International Conference on Broadband Communication, Wireless Sensors and Powering (BCWSP), Jakarta, nov. 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/BCWSP.2017.8272556.
- [8] A. Behl y K. Behl, «An Analysis of Security Implications in Session Initiation Protocol (SIP)», en 2013 7th Asia Modelling Symposium, Hong Kong, jul. 2013, pp. 275-280, doi: 10.1109/AMS.2013.48.
- [9] D. Garrido Guillán, «Tarjeta basada en Arduino para aplicación CTI de tercer nivel», tesis de grado de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2016.
- [10] Y. V. Cabrera González, «Software de aplicación CTI de tercer nivel para tarjeta basada en Arduino», tesis de grado de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2016.
- [11] A. Minessale y G. Maruzzelli, Mastering FreeSWITCH, Packt Publishing, 2016.
- [12] «VoIP Supply,» [En línea]. Available: <https://www.voipsupply.com/digium-1a4b00f>. [Último acceso: 25 noviembre 2019].

SOBRE LOS AUTORES

Elizabeth Guillán Joa. Graduada de Ingeniería Eléctrica en la especialidad de Telecomunicaciones en 1985 en la Universidad de Oriente, y Master en Ciencias en la especialidad de Conmutación Digital en 1999. Desde 1985, trabaja

como profesora de la Universidad de Oriente, en el Departamento de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Eléctrica. Ostenta la categoría docente de profesor auxiliar y ha impartido docencia en carreras como Telecomunicaciones, Automática, Eléctrica y Biomédica. Es la actual Coordinadora de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica. Se desempeña además como presidenta del tribunal de categoría Docente de Instructores y Asistentes para las carreras de Telecomunicaciones, Informática y Biomédica. Ha publicado monografías docentes y diversos artículos en revistas nacionales e internacionales. Es miembro del claustro de la Maestría en Telecomunicaciones de la Universidad de Oriente.

Danelis Garrido Guillán. Graduada en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, en el curso 2015-2016. Desde el 2016 trabaja como profesora de la Universidad de Oriente, en el Departamento de Telecomunicaciones donde pertenece al claustro de la disciplina Electrónica. Ostenta actualmente la categoría docente de profesor instructor.

Yunior V. Cabrera González. Graduado en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, en el curso 2015-2016. Desde el 2016 trabaja como profesor de la Universidad de Oriente, en el Departamento de Telecomunicaciones donde pertenece al claustro de la disciplina Electrónica. Ostenta actualmente la categoría docente de profesor instructor.